

基于查找表的四路摄像头协同多触点定位方法

王德鑫 熊志辉 张茂军

(国防科技大学信息系统与管理学院系统工程系 长沙 410073)

摘 要 针对多重触控技术中的多触点遮挡难题,提出一种基于四路摄像头协同的多触点定位方法。该方法利用矩形交互区四顶点处的四路摄像头同步获取交互区图像,检测目标触点,根据光的直线传播原理和交互区尺寸参数约束构建四条代表触点方向的直线,最后拟合四条直线交点定位出触点位置。实验证明,该方法能有效解决多触点遮挡问题,可支持任意多个触点的精确定位,而且成本低,安装方便,易于移植。

关键词 多重触控,人机交互,表面计算,触点定位

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A

Four Collaborated Cameras Multi-touch Locating Method Based on Look-up Table

WANG De-xin XIONG Zhi-hui ZHANG Mao-jun

(Department of System Engineering, College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract To solve the occlusion of multi touch, this paper presented a multi-touch locating method based on the collaboration of four cameras. It used four cameras fixed at each corner of the frame to capture images synchronously, detected objects in each camera, built lines directing the object according to the principle of geometric optics and physical dimension constraint of the frame, and finally calibrated with the four cameras to locate each object. Experimental results show that this method can locate multi touch precisely even under occlusion and it is low cost, easy to install and transplant.

Keywords Multi-touch, Human-computer interaction, Surface computing, Multi-touch locating

多重触控(Multi-touch)技术是人机交互领域的研究热点,特别是随着表面计算技术的提出,更激发了人们对多重触控技术的研究热情。多重触控技术借助光学和材料学的成果,使用户能在触控平台上进行多触点操作以实现基于手势的交互,甚至可以让多个用户同时操作以实现基于协同手势的交互。这种以用户为中心的具有高度自由性的交互方式,将是下一代人机交互的发展方向。

1 多重触控技术

多重触控技术的研究最早可追溯到 1982 年多伦多大学的 Nimish Mehta 利用毛玻璃构建的弹性交互接口^[1],之后引起了国内外学术界和工业界的广泛关注,也有了大量的成果,主要有电容式、红外式、FTIR(Frustrated Total Internal Reflection)式和多摄像头协同式。

电容式多重触控方法^[2-4]的触控装置表面布满电极,当手指触摸在电极表面时,人体电场和触控屏表面形成一个耦合电流,利用这个电流进行触点的定位。这种方法利用人体的电流感应进行工作,容易引起误操作或无响应,此外环境温度、湿度改变会引起漂移而定位不准。卢如西等^[5]融合两个方向的红外电路数据进行多触点定位,但无法解决多触点之

间的遮挡问题。Jefferson Y Han 等^[6]提出的多重触控装置和微软公司的表面计算机^[7]均基于 FTIR 原理。这种方法具有技术简单、容易构建大尺寸交互区等特点,但其采用的是背投技术,需要短距广角投影仪、亚克力玻璃层等特殊装置和材料,而且需要对现有电脑进行改装,因此无法直接安装在液晶屏、等离子屏等显示系统中。

Itai Katz 等^[8]提出了一种基于两路摄像头协同检测的多重触控方法。在该方法中,一路摄像头置于交互区正上方,另一路摄像头置于交互区任意侧面。上方的摄像头主要用于触摸事件的检测,然后通过两路摄像头之间的坐标变换得到触点在交互区平面的坐标。但是通过上方摄像头得到的深度信息检测触摸事件,精度不高,而且存在延迟,所以 Ankur Agarwal 等^[9]提出了一种利用立体相机作为上方摄像头进行精确定位的方法。但这些方法的共同问题都是无法解决触点间的遮挡问题^[8,9]。

文献[2-5, 8, 9]提出的方法都只有两个信号检测方向,可以简化成如图 1 所示,从而当同一检测方向上有多个触点时检测结果将出现很多伪点。图 1 中每个检测方向上都只能检测到两个触点,触点 F1 和 F3, F2 和 F4 在 X 方向中均成同一目标; F1 和 F2, F3 和 F4 在 Y 方向中也均成同一目标,所以

到稿日期:2008-12-15 返修日期:2009-02-27 本文受国家自然科学基金(60705013, 60773023),湖南省自然科学基金(08JJ5027)资助。
王德鑫(1983-),男,博士研究生,CCF 会员,主要研究方向为人机交互和多媒体信息系统, E-mail: nksky_wdx@gmail.com; 熊志辉(1976-),男,博士,讲师,主要研究方向为嵌入式系统和机器视觉等; 张茂军(1971-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为机器视觉、人机交互等。

场景 F1F3, F2F4, F1F3F2, F1F3F4, F2F4F1, F2F4F3, F1F2F3F4 的检测结果都一致,无法确定交互区中的触点个数和具体位置。

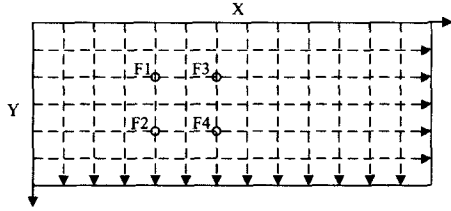


图1 遮挡分析

为此,本文提出了一种基于四路摄像头协同的多触点定位方法。该方法利用矩形交互区四顶点处的四路摄像头同步获取图像,独立检测触点目标,经四路数据融合后,协同计算触点位置。实验证明该方法能有效解决多触点遮挡问题,可支持任意多个触点的精确定位。

2 四路摄像头协同多触点定位原理

基于四路摄像头协同的多触点定位方法原理如图2所示。首先在矩形交互区4个边框上安装红外光源,并在4个顶点处分别安装广角红外摄像头,如图2(a)所示。当交互区没有遮挡物(即触点)时,每个摄像头将拍摄到由红外光构成的白色亮带;如果有遮挡物,红外光源发出的光将被遮挡物阻挡,在亮带对应位置上将出现阴影。红外光源过滤了可见光的影响,所以很容易检测出每路摄像头中的阴影目标,再根据光的直线传播原理,可以在交互区边框上找到与阴影目标成同一像的标定,从而确定阴影目标的方向为摄像头光心和该标定点的连线,然后综合四路摄像头数据进行拟合定位,每个真实的触点都可由四路摄像头中的4条方向直线相交得到,否则视为伪点予以剔除。

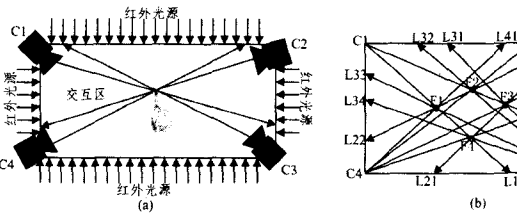


图2 原理图

该方法中每路摄像头的光心都在所在角的角平分线上,且交互区长宽不等,保证了对角两路摄像头的光心与任意触点的连线不会重合,从而任意一个触点即便在某路摄像头中不能成像,也必定能在该摄像头的对角摄像头中可以成像,确保了每个触点在两个对角线方向的至少两路摄像头中可以成像,即能构建两条由摄像头光心到遮挡物的像的直线,再融合另两路摄像头中的直线,如果4条直线交于一点,则该点为真实的触点,否则视为伪点予以剔除。如图2(b)中,触点F1和F4,F2和F3在C1中均成同一像,但在C3中成像不同;而且F1和F2,F3和F4在C2中也均成同一像,但在C4中成像不同,所以仍然可以为每个触点构建4条直线,从而确定交互区中有F1F2F3F4 4个触点,并且直线的交点即为触点的位置。

四路摄像头协同多触点定位方法的定位流程如图3所示。首先对摄像头进行标定,并将标定结果存为系统参数;利用四路摄像头同步采集交互区图像;基于获取的图像,检测它

们的阴影目标,目标位置即为遮挡物在该摄像头中的图像坐标;根据标定结果构建代表触点方向的直线;最后对联立四路摄像头得到的直线组成方程组求解,即可定位出触点在交互区的物理位置。

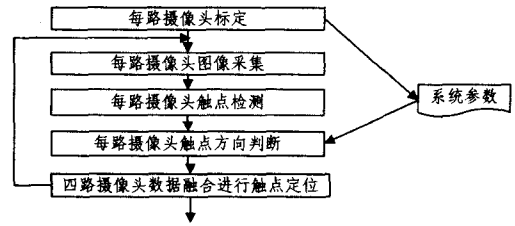


图3 定位流程图

3 摄像头标定与触点检测

摄像头的标定完成触点摄像头图像坐标与交互区物理坐标之间的映射。由于在红外光下标定摄像头的内外参数比较困难,因此本文采用查找表的方式进行标定。首先在边框上取等距分布的 n 个点为标定,得到标定点的交互区物理坐标集 $DW = \{dw_i\}$, $dw_i = (x_i, y_i)$, $i = 1 \dots n$ 。然后对摄像头 C_j ,依次将遮挡物置于从第1个标定点到第 n 个标定点处,并用摄像头 C_j 拍摄图像,图像中阴影的中心位置即为该标定点在摄像头 C_j 中的图像坐标 ca_{ji} ,从而得到标定点在摄像头中的图像坐标集 $CA = \{CA_j\}$, $CA_j = \{ca_{ji}\}$, $ca_{ji} = (x_{ji}, y_{ji})$, $j = 1, 2, 3, 4, i = 1 \dots n$,如图4所示。

标定点顺序	1	2	3	$i-1$	i	$i+1$	$i+2$	...	n
标定物理坐标	dw_1	dw_2	dw_3	dw_{i-1}	dw_i	dw_{i+1}	dw_{i+2}	...	dw_n
摄像头C1图像坐标	ca_{11}	ca_{12}	ca_{13}	$ca_{1,i-1}$	ca_{1i}	$ca_{1,i+1}$	$ca_{1,i+2}$	...	ca_{1n}
摄像头C2图像坐标	ca_{21}	ca_{22}	ca_{23}	$ca_{2,i-1}$	ca_{2i}	$ca_{2,i+1}$	$ca_{2,i+2}$	...	ca_{2n}
摄像头C3图像坐标	ca_{31}	ca_{32}	ca_{33}	$ca_{3,i-1}$	ca_{3i}	$ca_{3,i+1}$	$ca_{3,i+2}$	...	ca_{3n}
摄像头C4图像坐标	ca_{41}	ca_{42}	ca_{43}	$ca_{4,i-1}$	ca_{4i}	$ca_{4,i+1}$	$ca_{4,i+2}$	...	ca_{4n}

图4 标定参数查找表图

另外根据装置矩形边框尺寸参数得到摄像头物理坐标集 $CW = \{cw_j\}$, $cw_j = (cwx_j, cw_y_j)$ 为摄像头 C_j 的物理坐标,至此标定过程结束,标定结果作为系统参数存储起来,供检测定位程序使用,所以本文提出的方法只需一次标定,在使用过程中不需要重复校准。

本文提出的多触点检测方法中,利用红外光源有效过滤了环境光的影响,当交互区没有遮挡物(即触点)时,每个摄像头将拍摄到由红外光构成的白色亮带;如果有遮挡物,红外光源发出的光将被遮挡物阻挡,在亮带对应位置上将出现阴影。所以每路摄像头获取的图像都简单且稳定,很容易就可以检测出阴影目标,其位置坐标即为遮挡物在该摄像头图像中的坐标,从而得到所有触点在每路摄像头中的图像坐标集 $PG = \{PG_j\}$, PG_j 为所有触点在摄像头 C_j 中的图像坐标, $PG_j = \{pg_{jt}\}$, pg_{jt} 为摄像头 C_j 中第 t_j 个触点图像坐标, $t_j = 1 \dots n_j$, $j = 1, 2, 3, 4$ 。

4 触点定位

根据光的直线传播原理,对任一摄像头,从光心出发的同一条直线上的所有点在摄像头中所形成的图像均为同一点,所以根据触点检测过程得到的触点图像坐标,在标定结果中找到与它所成图像坐标一致的标定,那么触点必在光心与

该标定点的连线上。由于本文采用查找表标定法,因此有可能找不到与触点成同一图像坐标的标定,此时通过查找图像坐标最接近的标定,并通过线性插值的方法,构造代表该触点所在方向的直线。

以摄像头 C1 为例,对 C1 拍摄到的每个触点的图像坐标 pg_{i_1} , 计算所有标定点在 C1 中的坐标集 CA_1 中与 pg_{i_1} 的距离最近的坐标 ca_{i_1} , $j_1=1 \cdots n$, 若 $pg_{i_1} = ca_{i_1}$ 则该触点对应的标定点为 dw_{j_1} , 即 $P_{i_1} = dw_{j_1}$, P_{i_1} 为 pg_{i_1} 在交互区边框上对应点的物理坐标; 若 $pg_{i_1} \neq ca_{i_1}$, 则采用线性插值的方法对 pg_{i_1} 在交互区边框上的对应点进行插值, 插值方法描述如下:

$$\begin{cases} ca'_{i_1 j_1} = ca_{i_1 j_1 + 1}, dw'_{i_1 j_1} = dw_{i_1 j_1 + 1}, \text{若 } pg_{i_1} > ca_{i_1 j_1} \\ ca'_{i_1 j_1} = ca_{i_1 j_1 - 1}, dw'_{i_1 j_1} = dw_{i_1 j_1 - 1}, \text{若 } pg_{i_1} < ca_{i_1 j_1} \end{cases} \quad (1)$$

$$\left| \frac{pg_{i_1} - ca_{i_1 j_1}}{ca_{i_1 j_1} - ca'_{i_1 j_1}} \right| = \left| \frac{p_{i_1} - dw_{j_1}}{dw_{j_1} - dw'_{j_1}} \right| \quad (2)$$

式(1), 式(2)中 dw_{j_1} 为 $ca_{i_1 j_1}$ 对应的物理坐标, $dw_{j_1 + 1}$ 为 dw_{j_1} 后面一个标定点的物理坐标, $dw_{j_1 - 1}$ 为 dw_{j_1} 前面一个标定点的物理坐标, $ca'_{i_1 j_1}$ 为所有标定点在 C1 中的图像坐标集 CA_1 中用于插值的图像坐标, $dw'_{i_1 j_1}$ 为 $ca_{i_1 j_1}$ 对应的物理坐标, P_{i_1} 为 pg_{i_1} 在交互区边框上的物理坐标, 求解 $P_{i_1} = (x_{i_1}, y_{i_1})$ 。然后根据 ca_{i_1} 和 P_{i_1} 确定触点所在直线 l_{i_1} 为 $y_{i_1} = k_{i_1} x_{i_1} + b_{i_1}$, $k_{i_1} = \frac{y_{i_1} - cw y_1}{x_{i_1} - cw x_1}$, $b_{i_1} = cw y_1 - k_{i_1} * cw x_1$ 。

对摄像头 C2, C3, C4 也采用上述方法, 得到所有摄像头中的直线方程集 $L = \{L_1, L_2, L_3, L_4\}$, L_j 表示摄像头 C_j 得到的直线方程集, $L_j = \{l_{j_1}, l_{j_2}, \dots, l_{j_{n_j}}\}$, $l_{j_{n_j}}$ 表示摄像头 C_j 根据第 n_j 个触点得到的直线方程, 其矩阵表示形式为:

$$\begin{bmatrix} y_{j_1} \\ \dots \\ y_{j_{n_j}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{j_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{j_2} & 0 & 0 \\ \dots & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{j_{n_j}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{j_1} \\ \dots \\ x_{j_{n_j}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{j_1} \\ \dots \\ b_{j_{n_j}} \end{bmatrix}$$

$$j = 1, 2, 3, 4; n_j = 1 \cdots n_j$$

在每路摄像头中得到代表触点所在方向的直线后, 综合四路摄像头得到的 4 条直线进行触点的协同定位, 如果 4 条直线交于一点则为真实的触点, 交点位置即为触点在交互区的真实物理位置, 反之则为伪点, 应当剔除。所以从 L_1 中任选一条 l_{1_1} , 从 L_2 中任选一条 l_{2_2} , 从 L_3 中任选一条 l_{3_3} , 从 L_4 中任选一条 l_{4_4} , 从而由这 4 条直线确定的方程组的矩阵表达形式为:

$$\begin{bmatrix} k_{1_1} & b_{1_1} \\ k_{2_2} & b_{2_2} \\ k_{3_3} & b_{3_3} \\ k_{4_4} & b_{4_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$t_1 = 1 \cdots n_1; t_2 = 1 \cdots n_2; t_3 = 1 \cdots n_3; t_4 = 1 \cdots n_4$$

通过对这 4 条直线方程进行拟合求解交点, 如果有解即可得到触点的物理坐标 $f_e = (x, y)$ 。这样的方程组在 L 中共有 $C_{n_1}^1 * C_{n_2}^1 * C_{n_3}^1 * C_{n_4}^1$ 个, 求解这些方程组, 去掉重复解即可得到所有触点的集合 $F = \{f_e\}$, e 为触点个数。

5 实验结果

我们设计并实现了一个原型系统, 交互区的尺寸与 17 寸显示器的显示区域相同, 所以该装置能移植于任意同规格的

显示器前。应用程序建立在 VC6.0 平台上, 首先基于 Directshow 技术实现四路摄像头图像的同步采集, 采集效果如图 5a) 所示。然后基于 OPENCV 技术实现触点的检测和定位。为了减少触点检测和定位的计算量, 本文只对亮带区域的图像进行检测, 并且为了更准确地提取阴影区域的轮廓, 采用了像素线检测的方法, 将区域目标检测转为线上点目标检测。四路摄像头构建的背景图像如图 5b) 所示, 四路摄像头检测结果如图 5c) 所示, 定位结果如图 5d) 所示, 整体运行效果如图 5e) 所示。

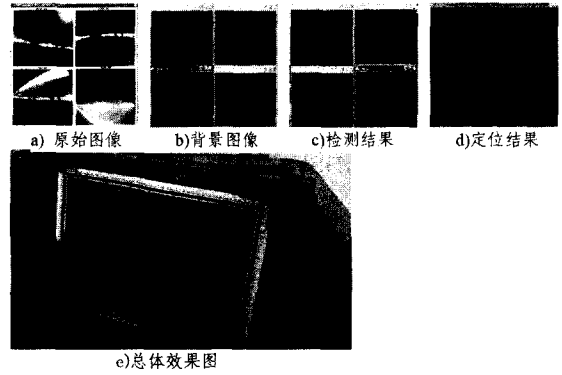


图 5 多触点定位

从图 5a) 和图 5c) 中可看出, 摄像头 C1 和 C2 得到的图像中, 手指之间的距离很小, 因此在检测时会被当作一个点, 但是在另外两个摄像头中能识别这种遮挡情况, 所以在 C3 和 C4 中都检测到了 4 个触点, 最后的检测结果如图 5d) 所示。实验表明, 本文提出的多重触控平台能有效地解决多触点之间的遮挡问题, 实现多触点的精确定位。

本文方法的精度主要取决于摄像头分辨率, 标定间距和插值算法。目前利用中星微芯片 (ZC0301PL, 30 万像素) 的普通 USB 摄像头, 标定间距为 10mm, 并采用本文的插值方法时误差在 10 像素以内。当标定间距为 5mm 时, 误差在 7 像素以内。缩小标定间距, 提高摄像头分辨率和改进插值方法可以进一步提高定位精度。

结束语 本文提出的四路摄像头协同多触点定位方法首先利用四路广角红外摄像头同步获取交互区图像, 然后进行阴影目标检测, 并根据标定结果构建代表触点方向的直线, 最后联合四路摄像头获得的 4 条直线相交, 协同定位出触点的位置。该方法根据光的直线传播原理和交互区尺寸参数的约束, 使得任意触点即便在被遮挡情况下也能构建至少两条唯一代表该触点方向的直线, 再融合另两路摄像头数据共得到 4 条直线, 且直线的交点即为触点的物理位置, 从而解决了触点之间的遮挡问题, 能实现任意多个触点的精确定位。

利用本文提出的多触点定位方法得到触点位置信息后, 根据触点位置坐标的变化情况确定各个触点的移动轨迹, 据此定义不同的交互手势, 比如两个触点运动方向相反表示进行放大或缩小操作; 一个触点不动, 另一个触点作弧线运动, 表示进行旋转操作等等, 完成单点触控系统所无法完成的功能。这也将是下一步的主要研究方向。

参考文献

[1] Buxton B. Multi-touch Systems that I Have Known and Loved [EB/OL]. <http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html>, February, 2008

图 6 给出了胸部 CT 去噪后的效果图以及局部放大效果图,图 7 为某脊椎 CT 去噪结果。由图可以看到,应用本文提出的方法,去噪后图像整体噪声得到明显抑制,并且其边缘及细节保留完好。

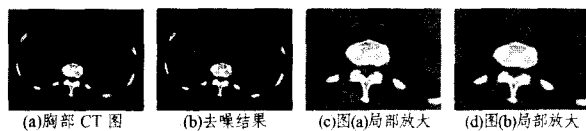


图 6 胸部 CT 图的 EMD 去噪

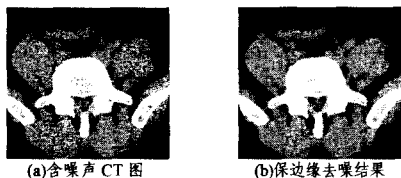


图 7 某脊椎 CT 图

结束语 对图像去除噪声意味着除去图像的高频部分,而图像的边缘信息也是图像的高频部分,所以在去除噪声的同时往往使图像的边缘变得模糊。本文提出了一种边缘保持的医学图像去噪方法,该方法是把二维经验模分解的方法应用到医学图像去噪中,对医学图像进行二次 EMD 分解,重构两次分解的残余分量,图像的去噪效果明显。最后从熵的角度对实验结果进行了定量比较,结果表明它比传统方法能更好地保持图像边缘,适用于医学图像的去噪。

参考文献

[1] Zhang S, Karim M A. A new impulse detector for switching median filter[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(11): 360-363

[2] Wang Z, Zhang D. Progressive switching median filter the removal of impulse noise from highly corrupted images [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 1999, 46(1): 78-80

[3] Donoho D L. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(5): 613-627

[4] Vidakovic B, Lozoya C B. On Time - dependent Wavelet Denoi-

ing [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 46(9): 2549-2551

[5] 石洪波, 马驹良, 韩笑. 一种基于小波变换图像去噪的新方法 [J]. 吉林大学学报: 理学版, 2007, 45(4): 607-610

[6] 周明月, 姜文龙. 基于小波变换的图像混合去噪算法 [J]. 长春工业大学学报: 自然科学版, 2008, 29(2): 162-164

[7] 张春梅, 张太猛, 陆从德. 一种能保留图像边缘信息的去噪新方法 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(10): 1464-1467

[8] 郭超峰, 曹奎. 一种新的边缘保持自适应平滑算法 [J]. 河南大学学报: 自然科学版, 2007, 37(5): 518-522

[9] Huang N E. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [C] // Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences. London, 1998, A454: 903-995

[10] Huang N E, Wu M L, Long S R. A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis [C] // Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences. London, 2003, A459: 2317-2345

[11] 刘忠轩, 彭思龙. 方向 EMD 分解与其在纹理分割中的应用 [J]. 中国科学 E 辑: 信息科学, 2005, 35(2): 113-123

[12] 盖强. 局域波时频分析方法的理论研究与应 [D]. 大连: 大连理工大学, 2001

[13] Qin Xu-jia, Liu Shi-shuang, Wu Zheng-qiang. Medical Image Enhancement Methods Based on 2D Empirical Mode Decomposition [C] // Proceedings of ICBC. Shanghai, May 2008: 2533-2536

[14] Teboul S, Blanc-Feraud L, Aubert G, et al. Variational approach for edge-preserving regularization using coupled PDE's [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(3): 387-397

[15] Coifman R R, Wickerhauser M V. Entropy-based Algorithms for best basis selection [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 38(2): 713-718

[16] 徐嵘, 刘书明. 图像中局部熵描述的合理性及其应 [J]. 信息技术, 2005, 29(11): 59-62

(上接第 253 页)

[2] Rekimoto J. SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces [C] // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Changing Our World, Changing Ourselves. Minneapolis, Minnesota, USA, April 2002: 113-120

[3] Dietz P, Leigh D. DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology [C] // Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST). Orlando Florida, November 2001: 219-226

[4] iPhone [OL]. <http://www.apple.com/iphone>, February 2008

[5] 卢如西, 周春景, 李军明. 一种红外线触摸屏及其多点触摸定位方法 [P]. 申请号: 200710031082. 6. 2007

[6] Han J Y. Low - Cost Multi - Touch Sensing through Frustrated

Total Internal Reflection [C] // Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Seattle, WA, USA, Oct. 2005: 315-319

[7] Buxton B. Surface and Tangible Computing, and the "Small" Matter of People and Design [C] // IEEE International Conference on Solid-State Circuits Conference, (ISSCC 2008), Digest of Technical Papers. San Francisco, CA, USA, Feb. 2008: 24-29

[8] Katz I, Gabayan K, Aghajan H. A Multi-Touch Surface Using Multiple Cameras [J]. Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS), Aug. 2007: 97-108

[9] Agarwal A, Izadi S, Chandraker M, et al. High Precision Multi-touch Sensing on Surfaces using Overhead Cameras [C] // Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, TABLETOP '07: 197-200